

日立電気式水車调速機の現地試験

Field Test of Hitachi Electric Governor for Water Turbine

小林 栄二* 舩沢 秀夫** 近野 大吉***

内 容 梗 概

電力需給の平衡状態が良好となつた最近の電力界では、良質な電力を供給する見地より高性能调速機の出現が要望されている。この要望にこたえるべく日立製作所では速応性磁気増幅器による新方式の電気式水車调速機を開発した。ここではその動作原理と構成の概要と関西電力寝覚発電所において行つた試験結果を述べた。試験の結果、この電気式水車调速機は感度、安定性、速応性、整一性、信頼度などのすべての点において十分満足すべきものであり、高性能调速機としてすぐれたものであることが立証された。

〔I〕 緒 言

第二次大戦直後は異常な電力の不足が生じ、60 $\sim$ 系統の周波数が50 $\sim$ 程度にまで低下するということがあつたが、その後各電力会社の努力により電源開発が急速に進められ、電力需給の平衡状況は大変に良くなりつつある。

このように需給の平衡がとれはじめた結果、周波数をできるだけ50, 60 $\sim$ に保持し良質な電力を需要家に供給したいという見地から、電力界では周波数を一定値に制御する自動周波数調整装置とともに高性能调速機の出現要望の声が高まりつつある。すなわち周波数変動の大きな波はA.F.C.により吸収せしめ、小さくかつ周期の速い変動は系統中の要所に配置した高性能调速機により吸収せしめて系統周波数を良質なものにしようとするものである。

日立製作所では早くより高性能调速機として電気式装置の開発研究を続けてきたが、最近に至り速応性磁気増幅器による独自の方式にかかる研究試作を終り、良好な性能のものをうることができた。

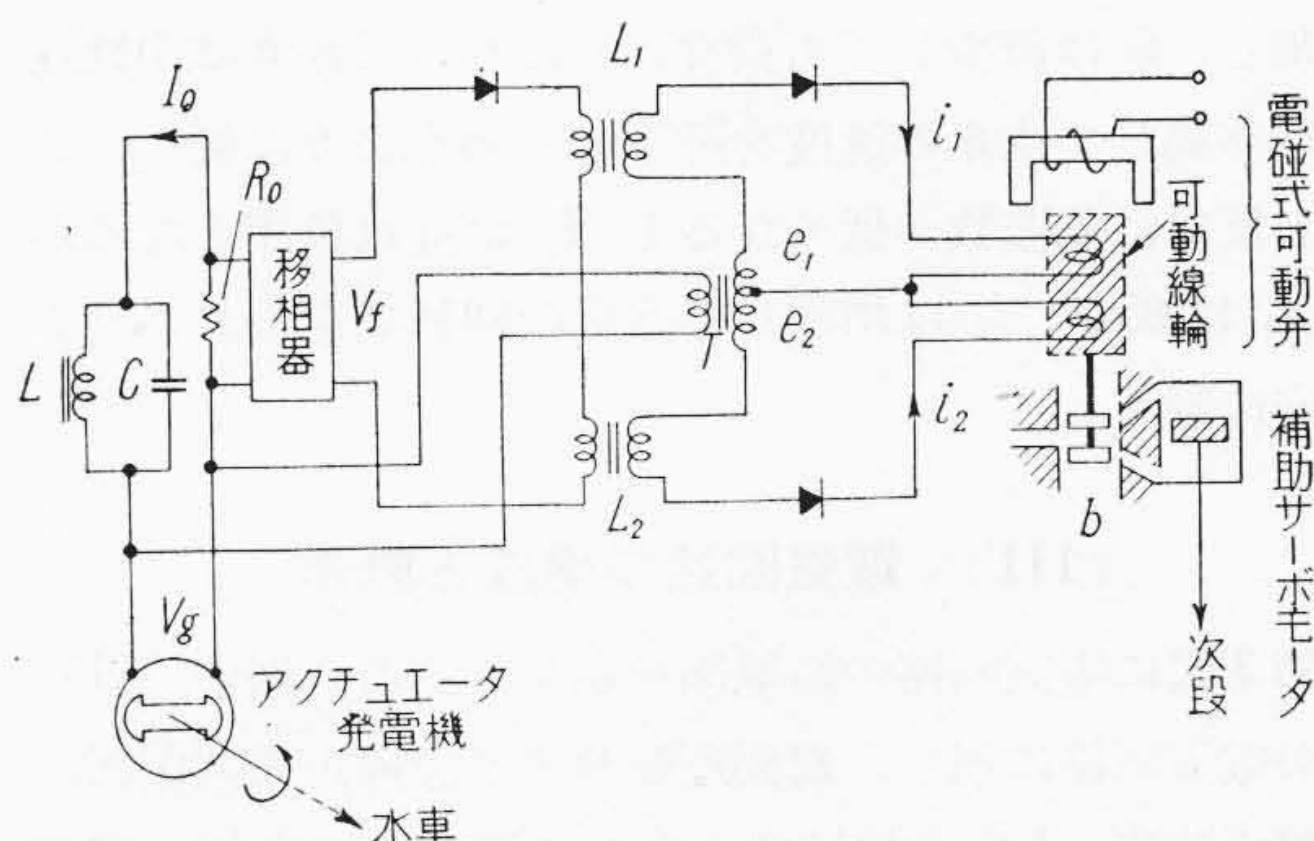
特に高性能调速機として具備すべき高感度、高速応性、高信頼性、安定性、整一性などのすべては十分満足されるものであることが、昭和31年5月関西電力寝覚発電所における現地試験で立証された。たとえば感度としては主サーボ・モータにおいて約0.02%よりもよく、また負荷遮断時の主サーボ・モータの不動時間は0.1秒より短かいという従来品にみられないすぐれた値を示した。また信頼性については外国の一部で電子管を用いたものが開発されているが⁽¹⁾、日立式のものは機械、電気的に丈夫な磁気増幅器を採用しているので信頼度は格段と高い特質をもつものである。

ここでは日立電気式调速機の原理構成の概要と、関西電力寝覚発電所における現地試験結果について述べる。

* 日立製作所日立研究所 工博

** 日立製作所日立工場

*** 日立製作所日立研究所



第1図 磁気増幅器（速応性）型電気式调速機の基本回路

Fig. 1. Fundamental Circuits of Magnetic Amplifier (Fast Response Type) Type Electric Governor

〔II〕 速応性磁気増幅器型调速機の動作原理の概要⁽²⁾

第1図に磁気増幅器型调速機の基本回路を示してある。図において周波数を検出する L, C 並列共振回路はアクチュエータ発電機の定格周波数、たとえば60 $\sim$ に相当する共振周波数をもっている。発電機の周波数が60 $\sim$ のときは、共振回路に流れ込む電流 I_0 は電源電圧 V_g と同位相であり、かつその大きさは最小となる。 L, C 並列共振回路には直列に抵抗 R_0 が挿入されているので、 R_0 の両端子間には電流 I_0 に比例した電圧降下 V_f がえられる。 V_f は整流器により正方向の半波整流電流となり、 L_1, L_2 の一次巻線に制御電流を付勢する。 L_1, L_2 の二次巻線には変圧器 T により一方の巻線には発電機電圧と同相、ほかの巻線には反対位相の電圧を加え、おのおの整流器を介して半波整流電流を差動線輪に導入する。しかも発電機周波数が定格のとき L_1, L_2 の一次二次電圧の位相関係を、おのおの $\pm 90^\circ$ の位相差をもつように移相器により調整しておく。

このようにしておくと出力電流 i_1, i_2 はたがいに逆位相の半サイクルの間だけ流れ、その値はひとしい。この

関係を第 2 図に示す。すなわち L_1 の二次回路は整流器によつて正方向の前半サイクル、 L_2 の二次回路は後半サイクルの間だけ導通性となり差動線輪に電流を流し、一次電圧による L_1, L_2 の逆励磁量はおおのひとしいから i_1 と i_2 はひとしい状態となる。(後述するように速応性磁気増幅器の二次電流を制御するためには、二次回路の電流非導通期間に一次巻線により鉄心の逆方向励磁の量を制御すればよい。) したがつて可動線輪は移動せず中性点にある。周波数が 60 周より高くなると、 I_0 は進位相となり V_f は第 2 図で左方に移り、 L_1 の逆励磁量は減少し、 L_2 の逆励磁量は増加するので、 i_1 は増加し、 i_2 は減少して可動弁は中性点から移動して水車の速度を降下せしめるように動く。これと反対に周波数が低くなると I_0 は遅れ位相となるから i_1 は減少、 i_2 は増加して水車の回転数を上昇させる方向に動く。

〔III〕 電気回路の構成と動作

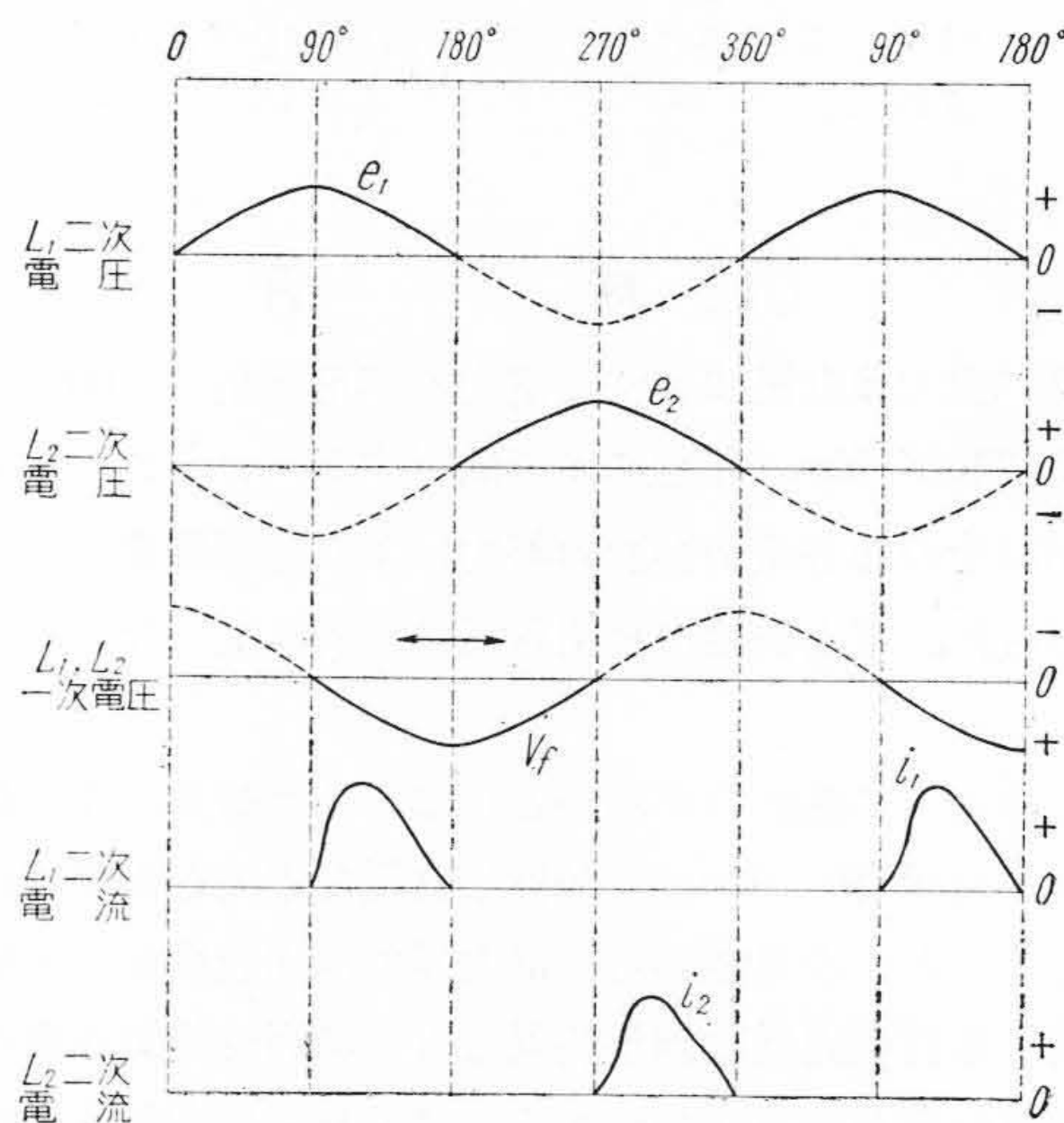
第 3 図に電気回路の結線図を示してある。図の (A) 部が電気回路に属し、起動運転および急停止用開閉部、定電圧装置、LC 共振回路よりなる周波数検出部、移相回路、位相弁別兼増幅回路、および速度調定率、過渡調定率特性附加回路などより構成されている。

この回路の周波数変化に対する応動動作の概要は既述したので、以下では速応性磁気増幅器の動作原理、速度

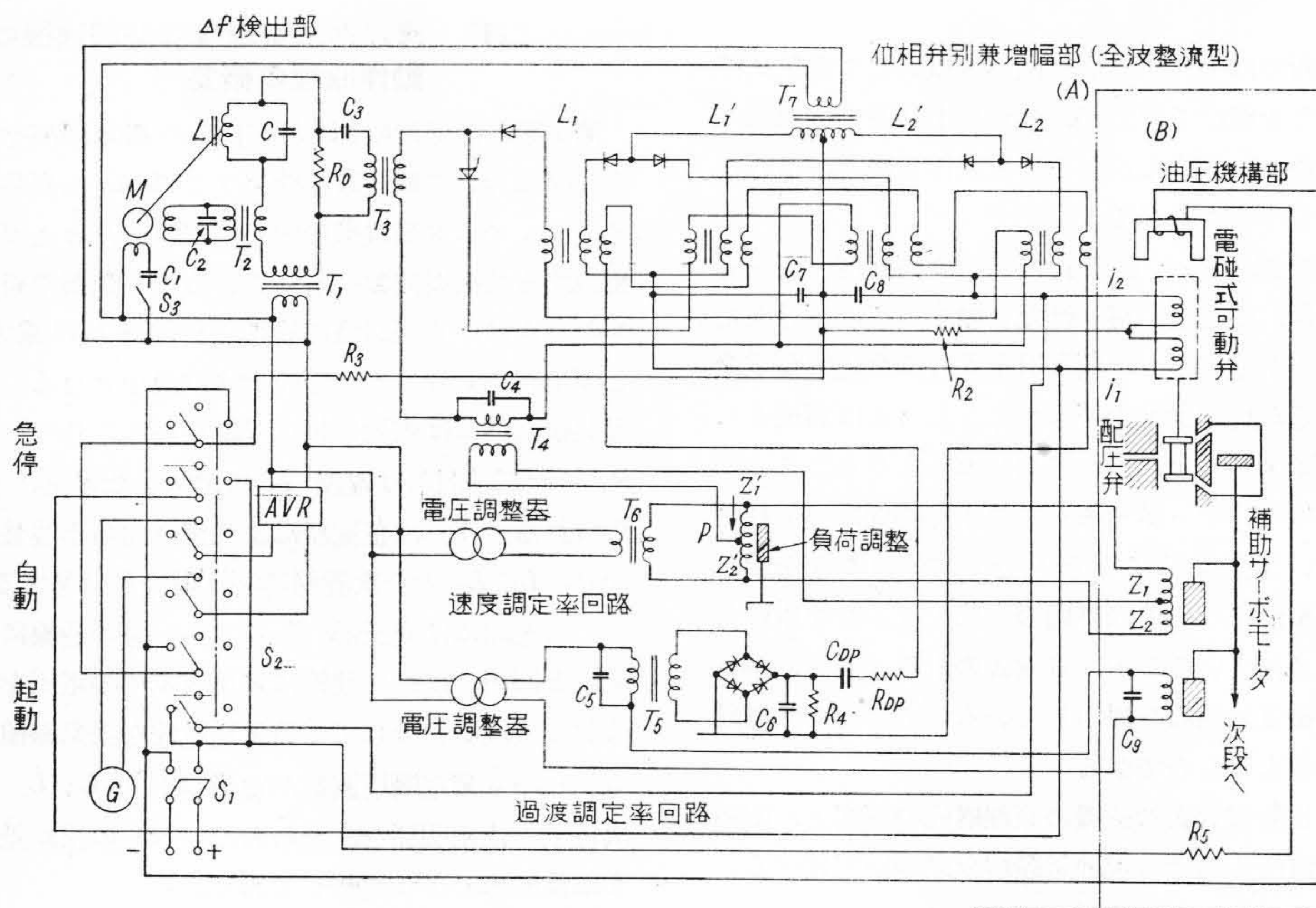
調定率および過渡調定率附加回路の動作概要について述べることにする。

(1) 速応性磁気増幅器の動作原理

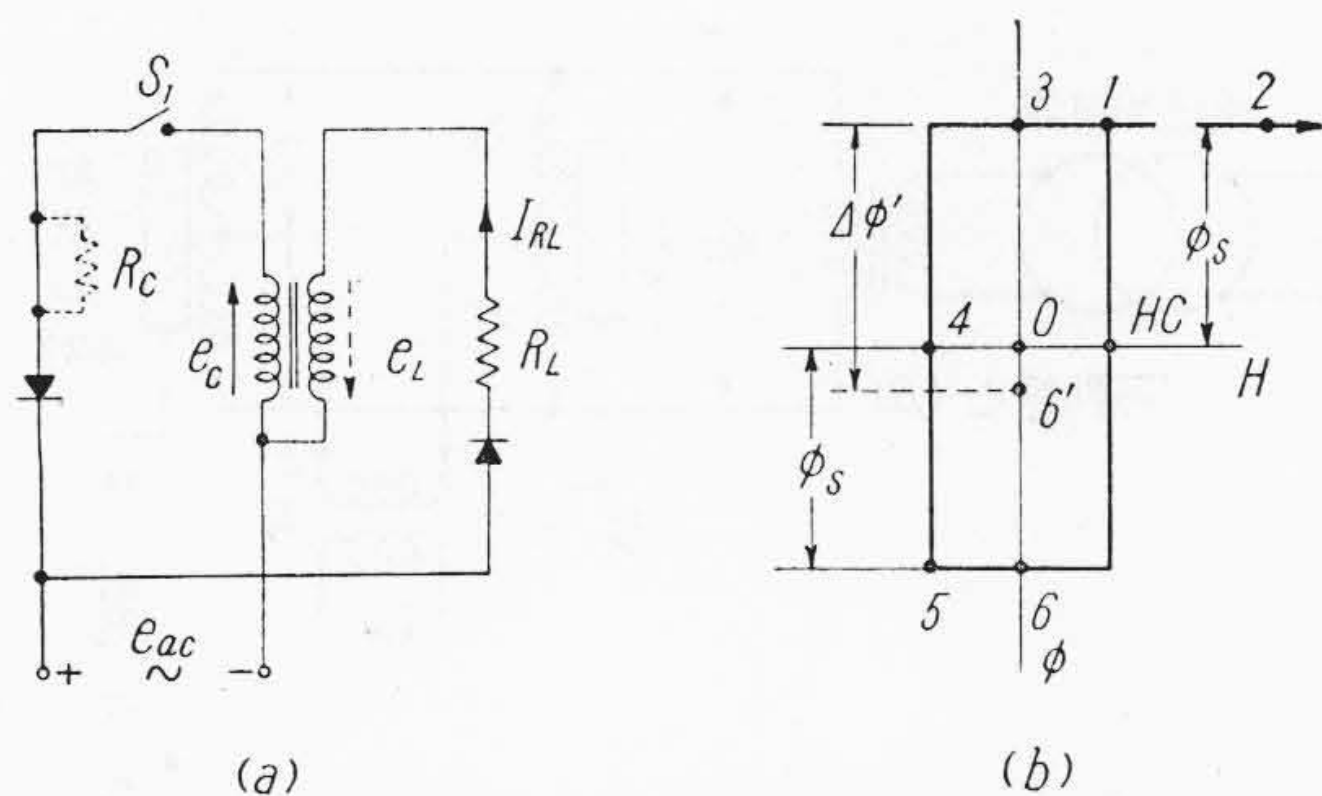
まず第 4 図 (a) のような回路を考え、磁気増幅器鉄心の磁化曲線としては同図 (b) のような矩形ヒステリシス曲線を仮定する。最初 (a) において S_1 を開放した場合を考えると、 e_{ac} が図示の極性のサイクル (二次



第 2 図 L_1, L_2 の一、二次電圧電流位相関係
Fig. 2. Phase Relation between Primary and Secondary Voltage, Current of L_1, L_2



第 3 図 電気式調速機回路図 (特許出願中)
Fig. 3. Connection Diagram of Electric Governor



第4図 速応性磁気増幅器の動作原理
Fig. 4. Principle of Magnetic Amplifier

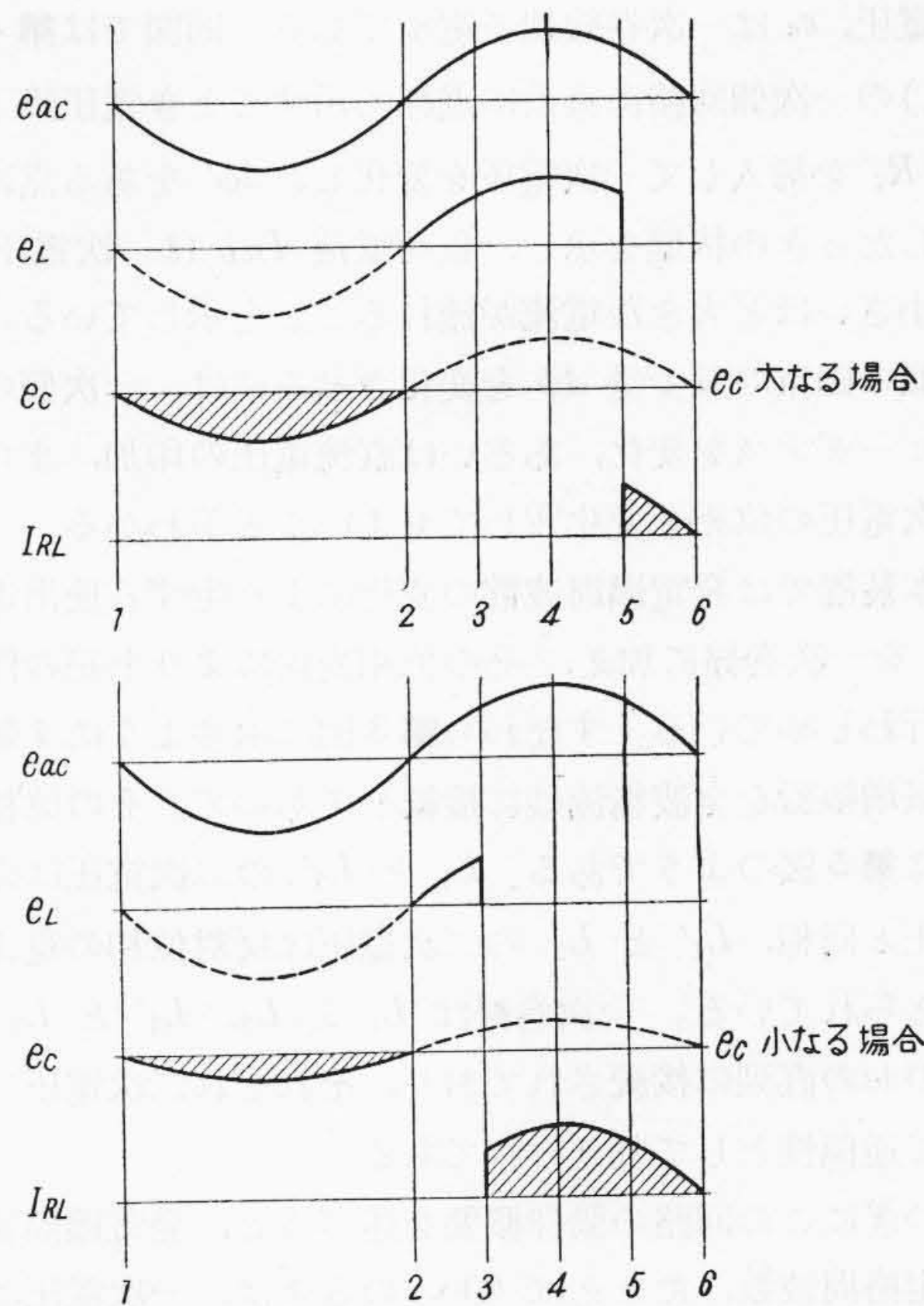
側整流器にたいして正の半サイクル) ではじまるとき磁束が (b) の 0 点にあるとすると, まず励磁電流が流れて動作点は H_c にうつる。鉄心が飽和しない間は, そのインピーダンスは非常に高いので e_{ac} はすべて鉄心にかかり磁束は増加するが負荷には電流が流れない。 ϕ が 1 点に達すると鉄心は飽和し, そのインピーダンスは急速に減少して無視できるほどになり, 負荷 R_L には e_{ac} のほぼ全電圧がかかり e_{ac}/R_L の電流が流れる。正半サイクルの終りには動作点は 3 点にもどる。つぎの負の半サイクルの間は整流器にさまたげられて電流は流れないので磁束は 3 点にとどまる。つぎの正半サイクルでは動作点は 3 から始まり, 3, 1, 2→2, 1, 3 と以後の正半サイクルでは鉄心は無視しうる状態を繰返すことになる。

つぎに (a) 図の S_1 を閉じた場合を考える。正半サイクルの終りには動作点は (b) の 3 点にあるから, 負半サイクル (図示極性の反対) がはじまると一次側整流器は導通性となり電流が流れる。したがって鉄心には前と逆向きの電圧がかかるので磁束は $\Delta\phi$ 減少する。 $\Delta\phi = 2\phi_s$ で負半サイクルが終るように e_{ac} の値をえらんでおくと, 負半サイクルの終りに動作点は 6 にうつる。

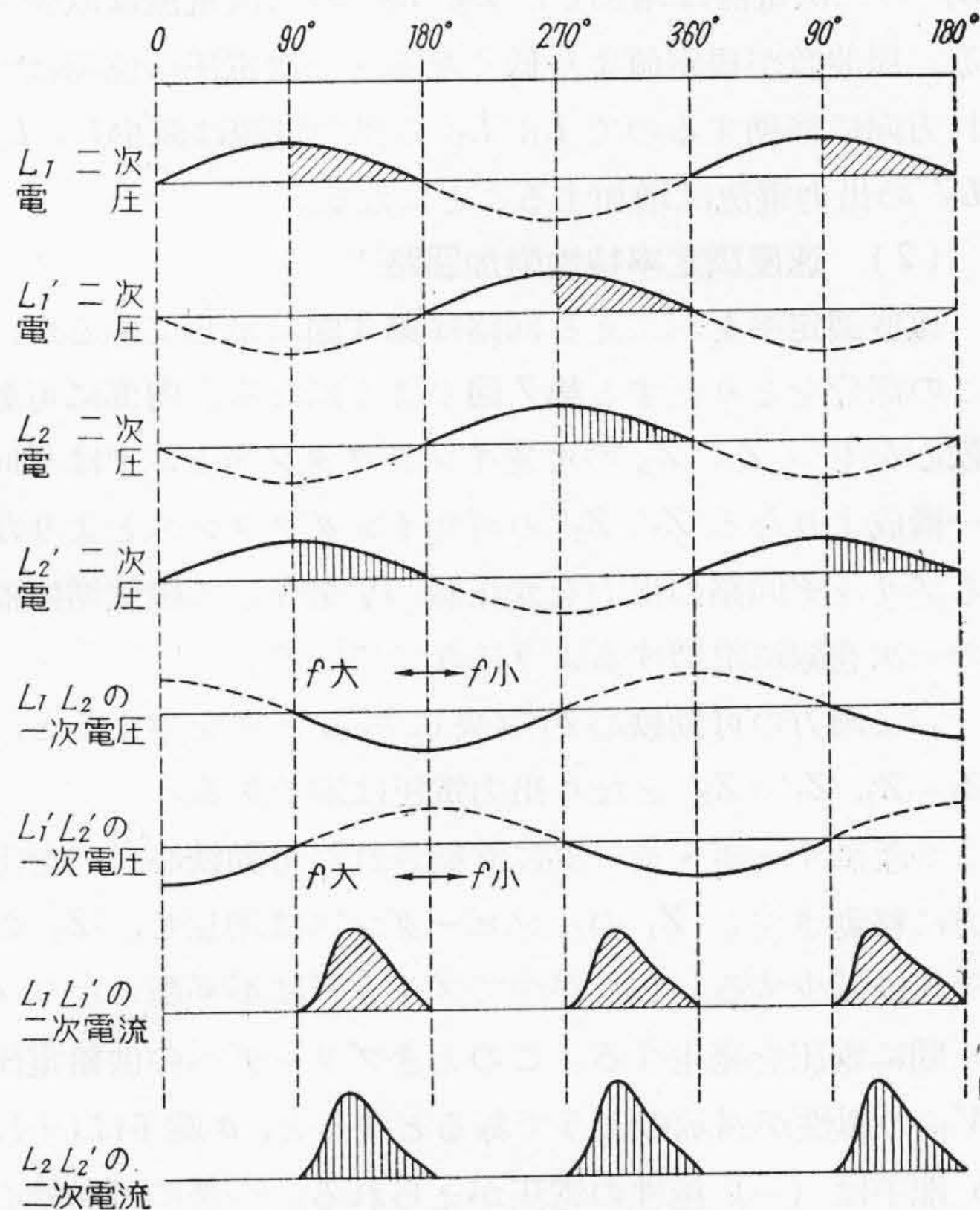
つぎの正半サイクルでは一次側整流器は非導通性となり, 二次側整流器は導通性になるので, 磁束は 6 点より 1 点に向つて増加する。ところが正半サイクルの終りによく 1 点に達するので負荷には電流は流れない。

つぎに磁束の減少量 $\Delta\phi$ をたとえば 6' 点のように途中で終るように一次側電圧をなんらかの方法により調整すると, つぎの正半サイクルに鉄心で増加すべき磁束は $\Delta\phi'$ にひとしく, のこりの $2\phi_s - \Delta\phi'$ に相当する時間積分電圧は負荷にかかる。したがって負の半サイクル間の磁束の降下量によつて, つぎの正半サイクル間に流れる電流を変化せしめることができる。したがって一次側入力信号電圧の発生により, 二次側出力電流は 1 サイクル以内に応答をする速応的のものであることがわかる。

以上のことを電圧, 電流の位相関係で示すと第 5 図のようになる。ここで e_{ac} は電源電圧, e_L は二次巻線端



第5図 磁気増幅器 (速応性) の動作
Fig. 5. Movement of Magnetic Amplifier (Fast Response Type)



第6図 全波型磁気増幅器の一, 二次電圧, 電流の位相関係
Fig. 6. Phase Relation between Voltage and Current of Full Wave Type Magnetic Amplifier

子電圧, e_c は一次巻線端子電圧である。同図では第 4 図 (a) の一次側回路に直列に点線で示すとき電圧降下抵抗 R_c を挿入して一次電圧を変化し, $\Delta\phi'$ をある点に整定したときの状態を示し, 負荷電流 I_{RL} は一次電圧 e_c が小さいほど大きな電流が流れることを示している。一次側の磁束の減少量 $\Delta\phi$ を変化させるには, 一次側のインピーダンスを変化, あるいは直流電圧の印加, または一次電圧の位相を変化⁽³⁾してもよいことがわかる。

本装置では発電機周波数の変化により生ずる検出電圧 V_f を一次巻線に加え, その位相変化により上記の作用を行わしめている。すなわち第 3 図に示すように 4 個の磁気増幅器を全波整流型に接続してあつて, その位相関係は第 6 図のようである。 L_1 と L_2' の二次電圧は電源電圧と同相, L_1' と L_2 の二次電圧は反対位相の電圧が加えられている。一次巻線は L_1 と L_2 , L_1' と L_2' がおのおの直列に接続されており, それぞれ二次電圧に対して逆極性として加えられてある。

つぎにこの回路の動作概要を述べると, 発電機周波数が定格周波数, たとえば 60 $\sim$ のときは, 一次電圧はおのおの二次電圧に対して $\pm 90^\circ$ の位相差をもっており, その出力電流 i_1 と i_2 はひとしい。周波数が規定値より高くなると, 一次電圧は進み位相となり, L_1, L_1' の逆励磁量は減少し, L_2, L_2' の逆励磁量は増加するので L_1, L_1' の二次電流は増加し, L_2, L_2' の二次電流は減少する。周波数が規定値より低くなると一次電圧の位相は遅れ方向に移動するので L_1, L_1' の出力電流は減少し, L_2, L_2' の出力電流は増加することになる。

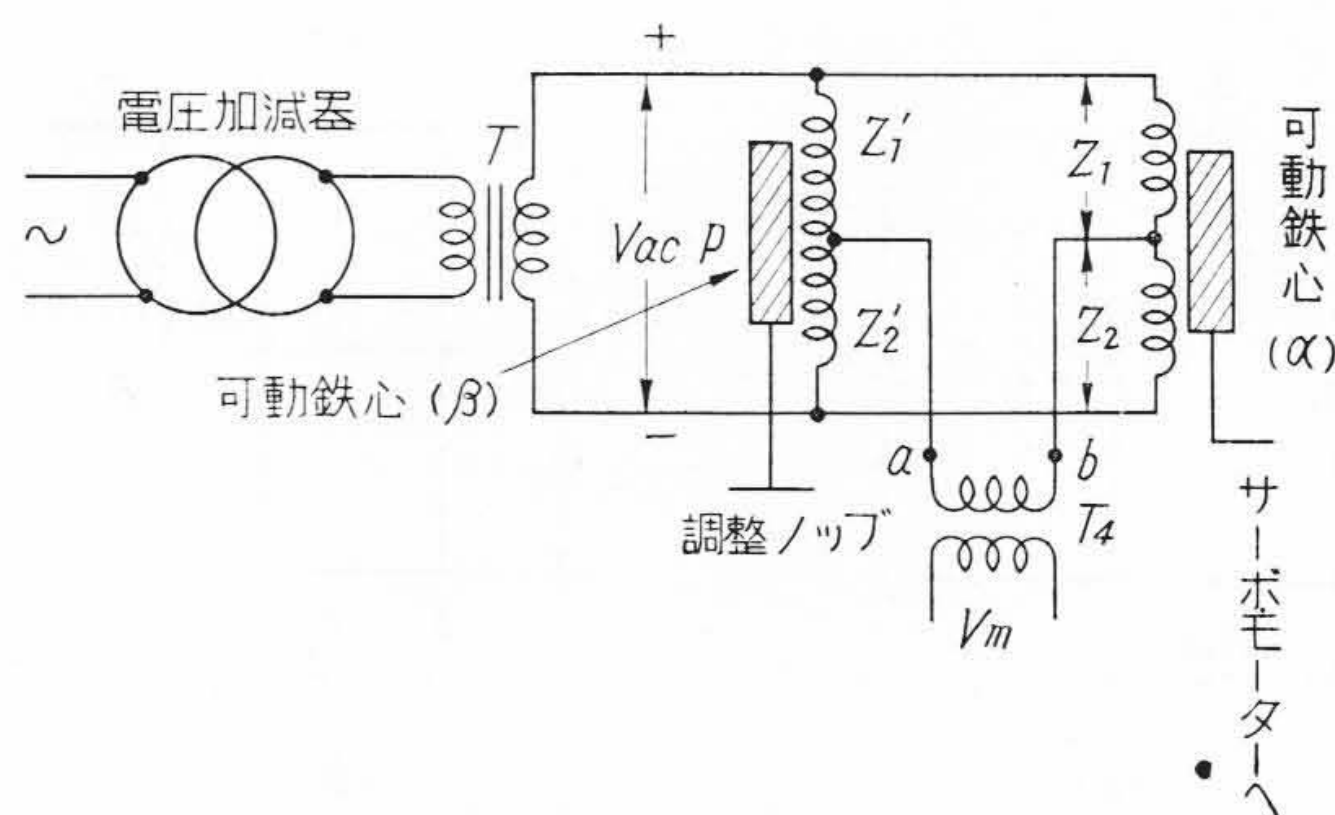
(2) 速度調定率特性附加回路⁽⁴⁾

速度調定率をあたえる回路は第 3 図に示してあるが, この部分を取りだすと第 7 図のようになる。内部に可動鉄心をもつ Z_1, Z_2 の可変インダクタンスと, やはり同一構成よりなる Z_1', Z_2' の可変インダクタンスとよりなるブリッジ回路の出力を変圧器 T_4 を介して磁気増幅器の一次巻線に付勢するようになっている。

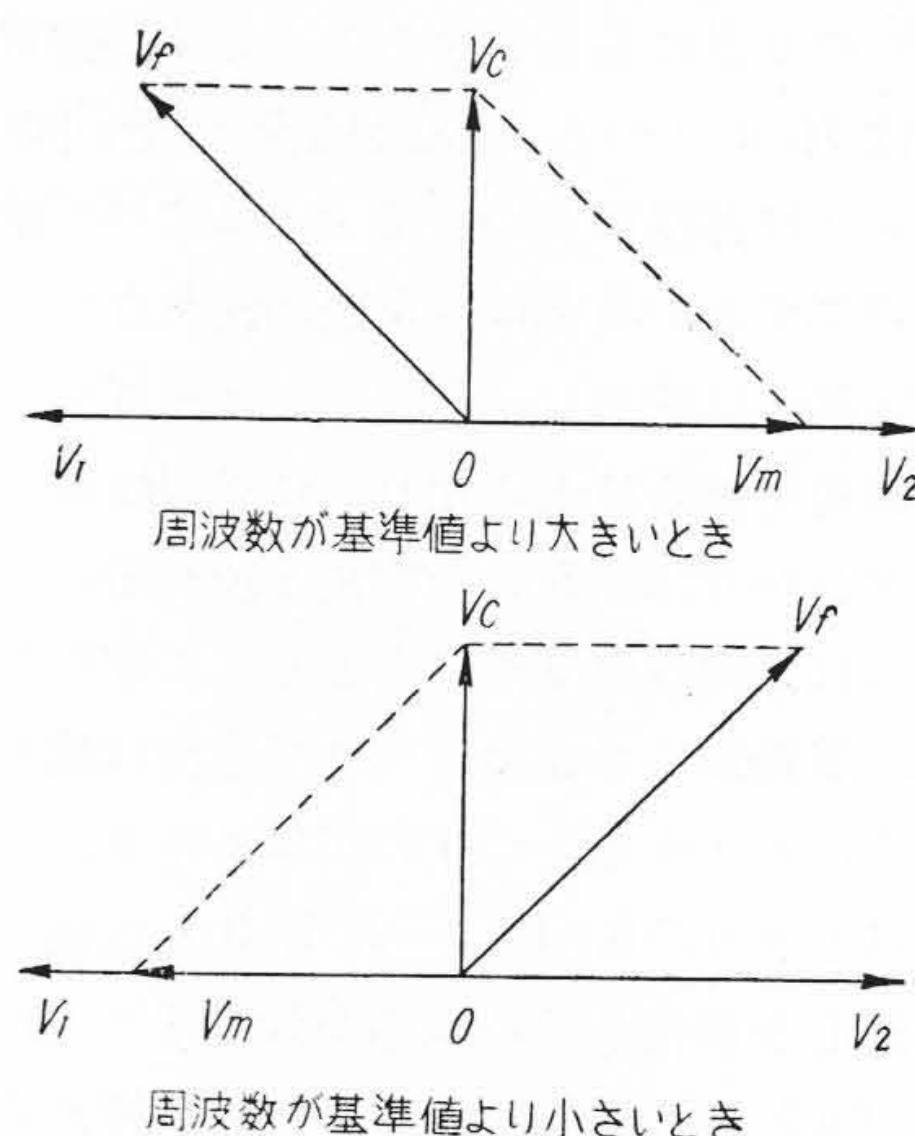
いま両方の可動鉄心が中央にあるときを考えると, $Z_1 = Z_2, Z_1' = Z_2'$ となり出力電圧は零である。

つぎにサーボ・モータに直結された可動鉄心 α を上方に移動させると Z_1 のインピーダンスは増加し, Z_2 のそれは減少する。したがってブリッジは不平衡となり a, b 間に電圧を発生する。このときブリッジへの供給電圧 V_{ac} の極性が図示のようであるとすると, a 端子は(+), b 端子は(-) 極性の電圧がえられる。つぎに可動鉄心 α を下方に移動させると, Z_2 のインピーダンスは増大し, Z_1 のそれは減少して a 端子は(-), b 端子は(+) 極性の出力がえられる。

調整ノブに直結された可動鉄心 β を中央位置にお



第 7 図 速度調定率特性附加回路
Fig. 7. Connection Diagram of the Network which gives the Speed Droop Characteristics



第 8 図 速度調定率をあたえたときの磁気増幅器の一次, 二次電圧のベクトル図

Fig. 8. Vector Diagram of Magnetic Amplifier Voltage when Speed Droop Characteristics are given

き, α 鉄心をサーボ・モータに直結し, 発電機周波数がたとえば 60 $\sim$ のときちょうど $Z_1 = Z_2$ になるようにしておく, このようにしておくこととサーボ・モータの位置, したがって案内羽根の開度は α 鉄心の位置で定められた中央位置をとることになる。

つぎに周波数が 60 $\sim$ より低くなると周波数検出回路よりの検出電圧で磁気増幅器の出力電流は不平衡となり電磁可動弁は中性位置より移動し, 次段の油圧機構を動かして周波数をもとの 60 $\sim$ に回復させようとする。(このままにしておくと調速機は無定位的な動作を行い, 不適當であるので, ここに述べる装置と方法によつて速度調定率をあたえる。) ところがサーボ・モータが動き, これに直結された可動鉄心 α が移動し, ブリッジ回路の不平衡電圧 V_m と周波数検出回路よりの V_f とで合成される磁気増幅器の一次電圧が, 二次電圧 V_1, V_2 とそれぞれ $\pm 90^\circ$ の位相関係になるまで動くと, 二次電流

i_1 と i_2 は平衡して電磁式可動弁は中性点にもどり、サーボ・モータは停止するにいたる。したがって周波数はもとの 60 $\sim$ に回復されず、わずかの周波数だけ変化したところ、すなわちある調定率をもった点で平衡運転をつづける。ブリッジ回路に供給する電圧 V_{ac} を加減することにより調定率を任意の値に整定しうるし、またある周波数で運転中においても β 鉄心を移動させることによって案内羽根開度を任意位置に設定させることができる。

第8図は速度調定率回路よりの電圧 V_m 、周波数検出回路よりの電圧 V_f 、磁気増幅器二次電圧 V_1 、 V_2 の間のベクトル関係を示してある。 Δf が大、または小になり V_f が反時計または時計回転方向に移相すると、サーボ・モータの移動により調定率電圧 V_m が発生し、その合成電圧 V_c が V_1 には -90° 、 V_2 には $+90^\circ$ の位相関係となるまで生長したところで平衡状態にもどつたことを示してある。

(3) 過渡調定率特性附加回路⁽⁵⁾

この回路は第3図の下方に示してあるが、この部分だけをとり出すと第9図のようである。すなわち変圧器の一次側と、可変インダクタンス線輪が直列に接続されて交流電圧があたえられている。可変インダクタンスの可動鉄心は補助サーボ・モータに直結されているので、補助サーボ・モータが動くと、可動鉄心もサーボ・モータと同一方向に動く。そのため線輪のインピーダンスが変化するので、変圧器一次巻線と可変インダクタンス線輪間の電圧分担が変わる。可動鉄心が線輪内にあるときは線輪のインピーダンスは大きくなるので、大部分の電圧を分担する。反対のときは変圧器が大部分を分担する。したがって可動鉄心の変位に応じて変圧器の二次電圧が変化する。変圧器の二次電圧は整流器により直流に変換したのち C_{DP} 、 R_{DP} よりなる微分回路を介して磁気増幅器の三次巻線に附加してあるので、二次電圧の増減により磁気増幅器の三次巻線にはその微分電圧、したがって電流が流れ増幅器の出力電流 i_1 、 i_2 を過渡的に制御し制動をかける。

〔IV〕 機械部分の構成概要

既述のように電気式調速機は調速作用をすべて電氣的に行うものでなく、水車案内羽根を操作するには急速性と大動力を必要とするので、外部エネルギー源として油圧装置およ

び油圧機構を必要とする点は従来の機械式調整機と軌を一にするものである。

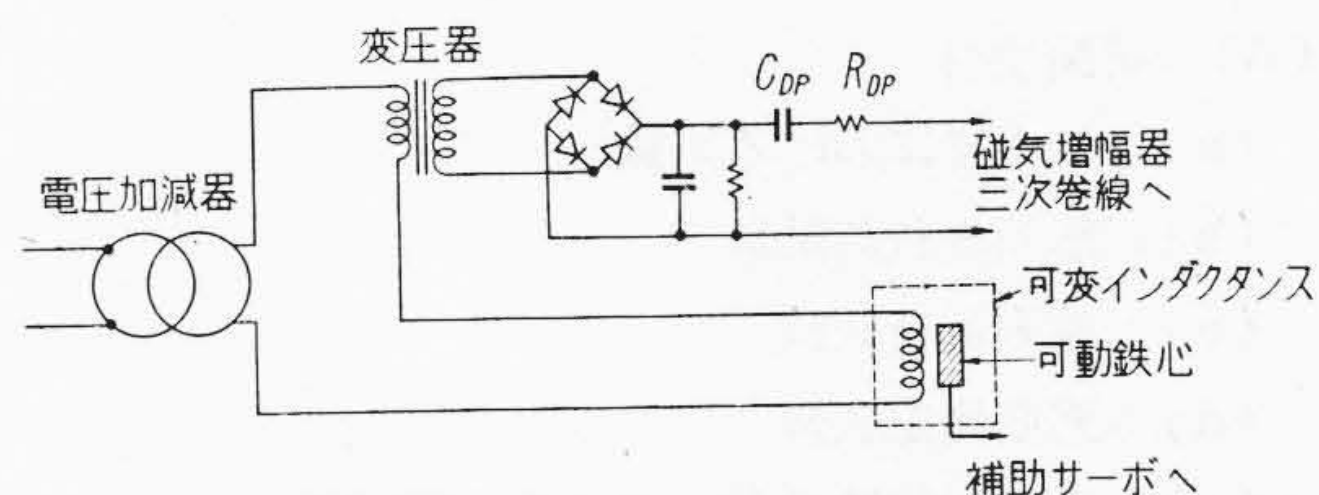
日立電気式調速機では周波数変化を電氣的に検出し、これを電磁式可動弁部において機械的変位とし、それ以降は一次配圧弁、補助サーボ・モータ、二次配圧弁、および主サーボ・モータの機械機構により調速機動作を行わしめるものである。

その構成を示すと第10図のようであり、上記のもの以外に負荷制限装置と、急停止操作装置がもうけられてある。

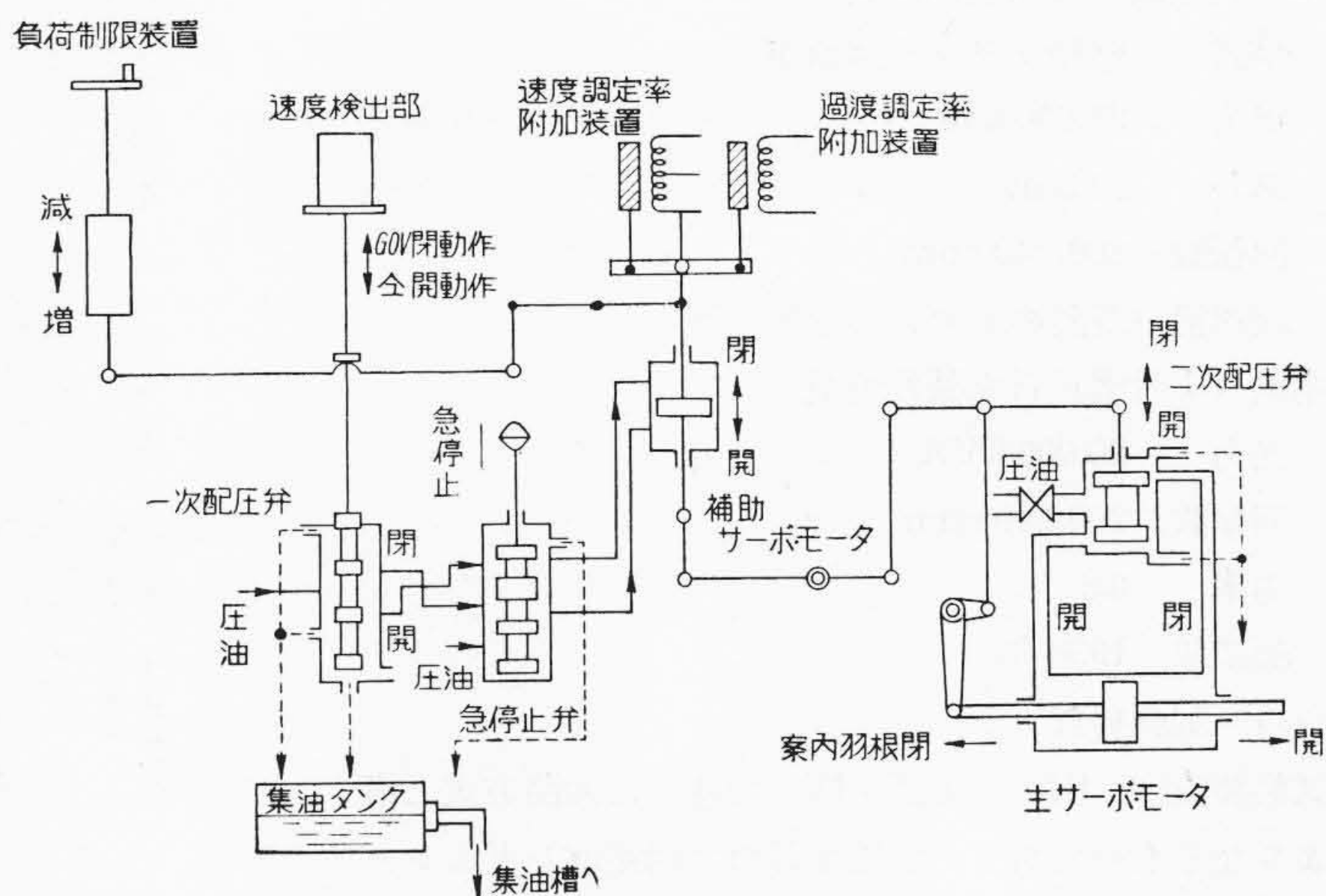
〔V〕 関西電力寝覚発電所における現地試験

上述の日立電気式調速機については、工場内において各種の試験を施行しその性能に十分の確信をうるに至つたので、これを実際の水車に取付けた状態で性能試験を行つた。

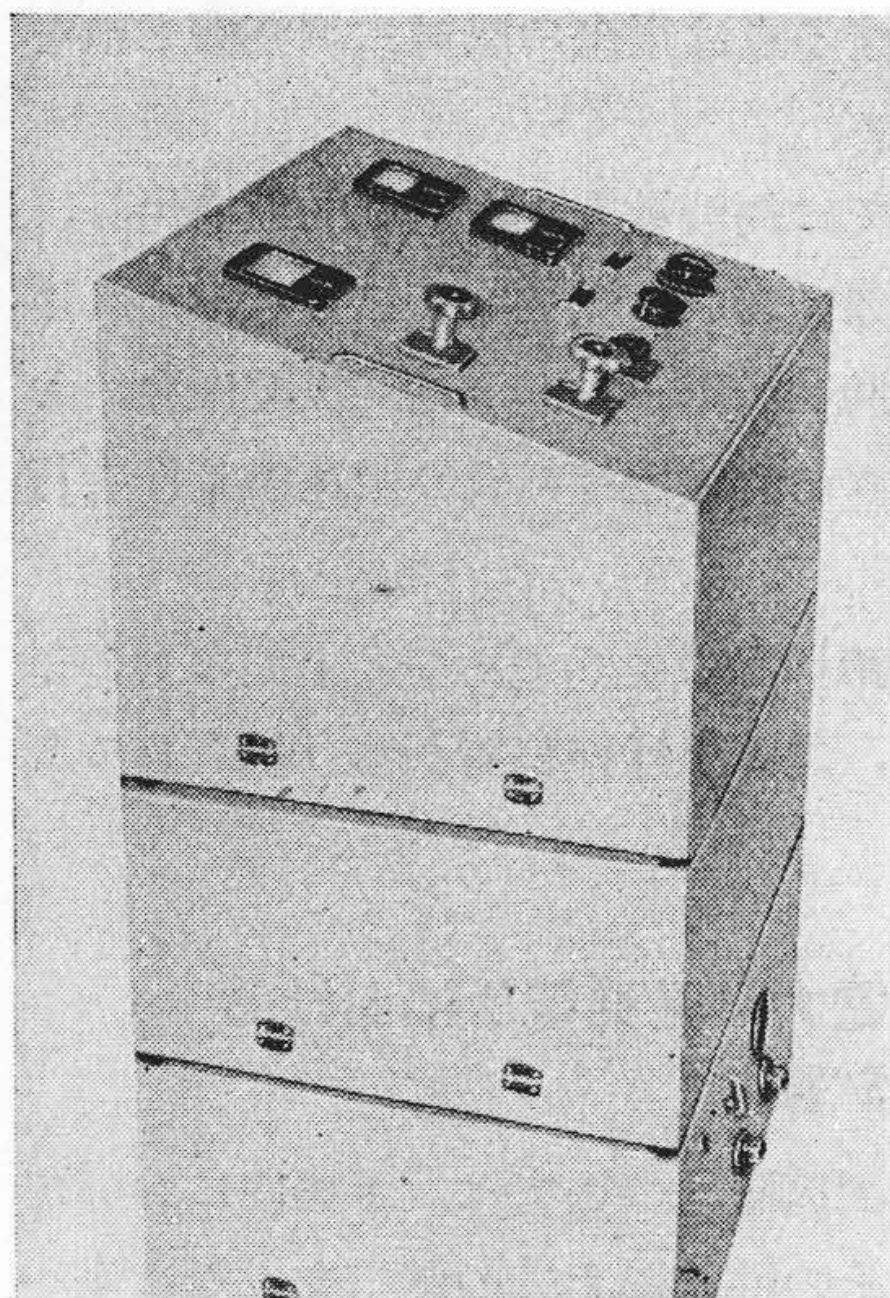
現地試験は昭和31年5月関西電力寝覚発電所において行われたが、この試験に関しては関西電力株式会社より



第9図 過渡調定率特性附加回路
Fig. 9. Connection Diagram of the Network which gives the Transient Speed Droop Characteristics

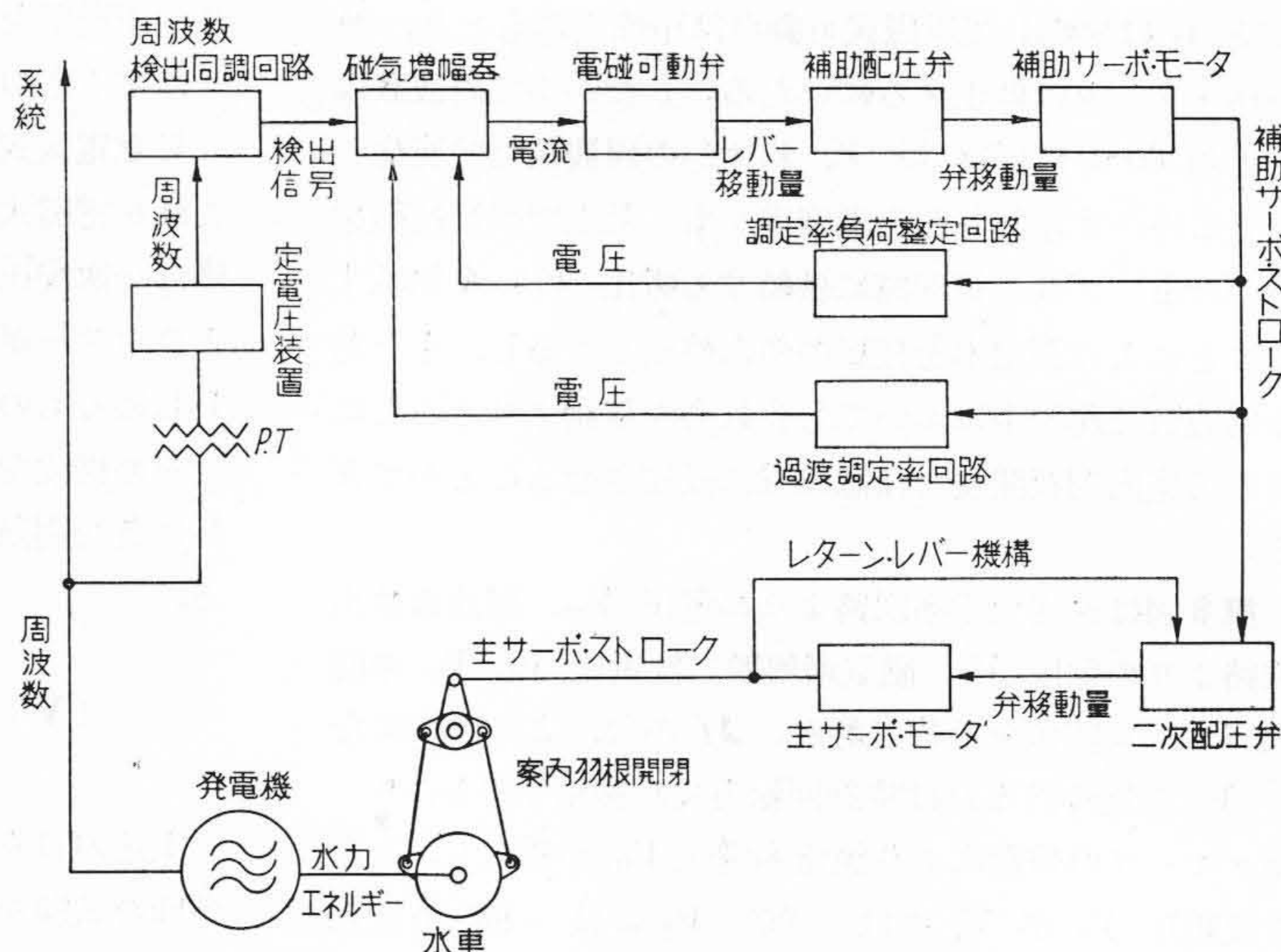


第10図 電気式調速機の機械的構成図
Fig. 10. Composition of Mechanical Parts of Electric Governor



第11図 レギュレータキュービクルの外観

Fig. 11. Appearance of Regulator Cubicle



第12図 電気式調速機のブロック線図

Fig. 12. Block Diagram of Electric Governor

多大の御援助をいただいた。以下この試験の結果の概略について述べることにする。

(A) 試験項目

- (a) 無水時における試験
- (b) 解列無負荷試験
- (c) 並列負荷試験
- (d) 感度測定試験
- (e) 系統周波数変動に対する応動試験
- (f) 負荷遮断試験
- (g) 周波数応答試験

(B) 使用機械

水車 (1号機) 日立製作所製

型式 縦軸フランス水車

出力 21,000 kW

落差 64.5 m

回転数 200/240 rpm

調速機 (既設のもの) 日立密閉型

発電機 (1号機) 日立製作所製

出力 20,000 kVA

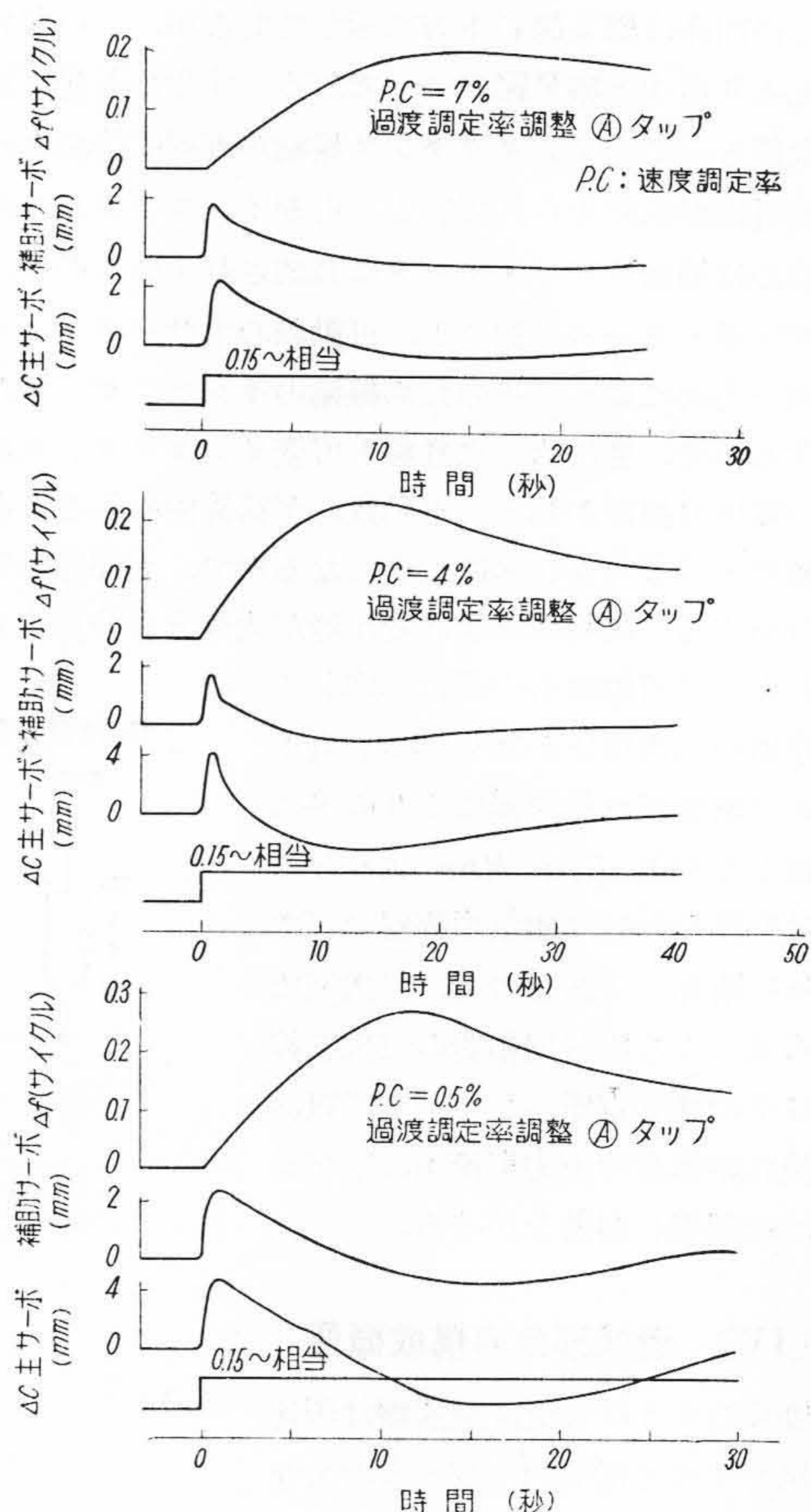
回転数 200/240 rpm

力率 0.8

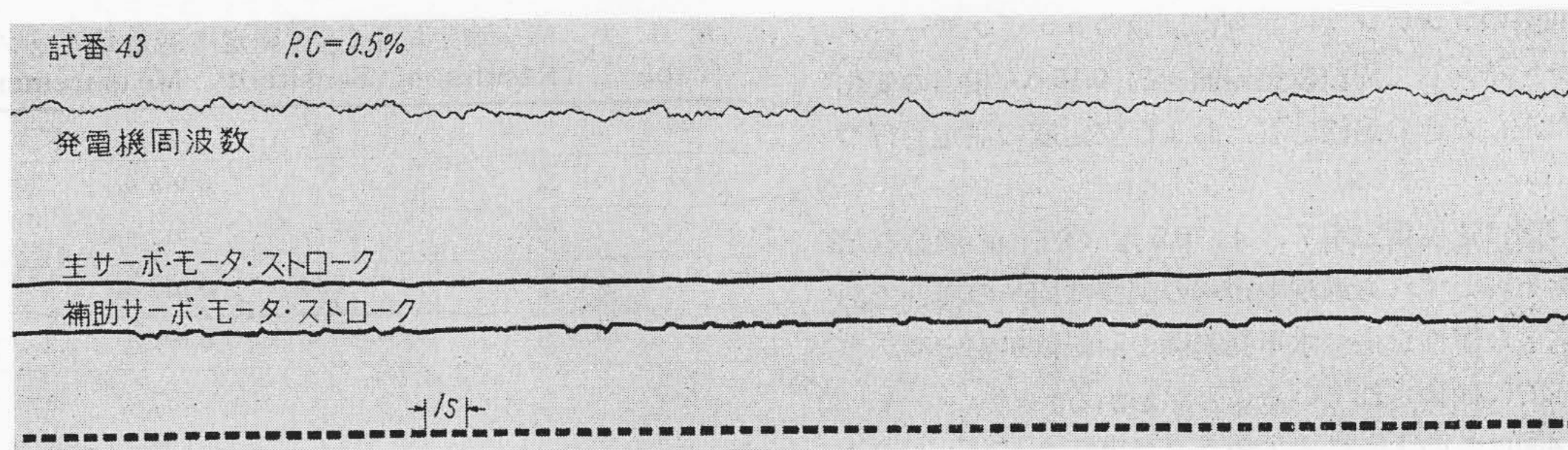
製造年 1938年

(C) 試験装置

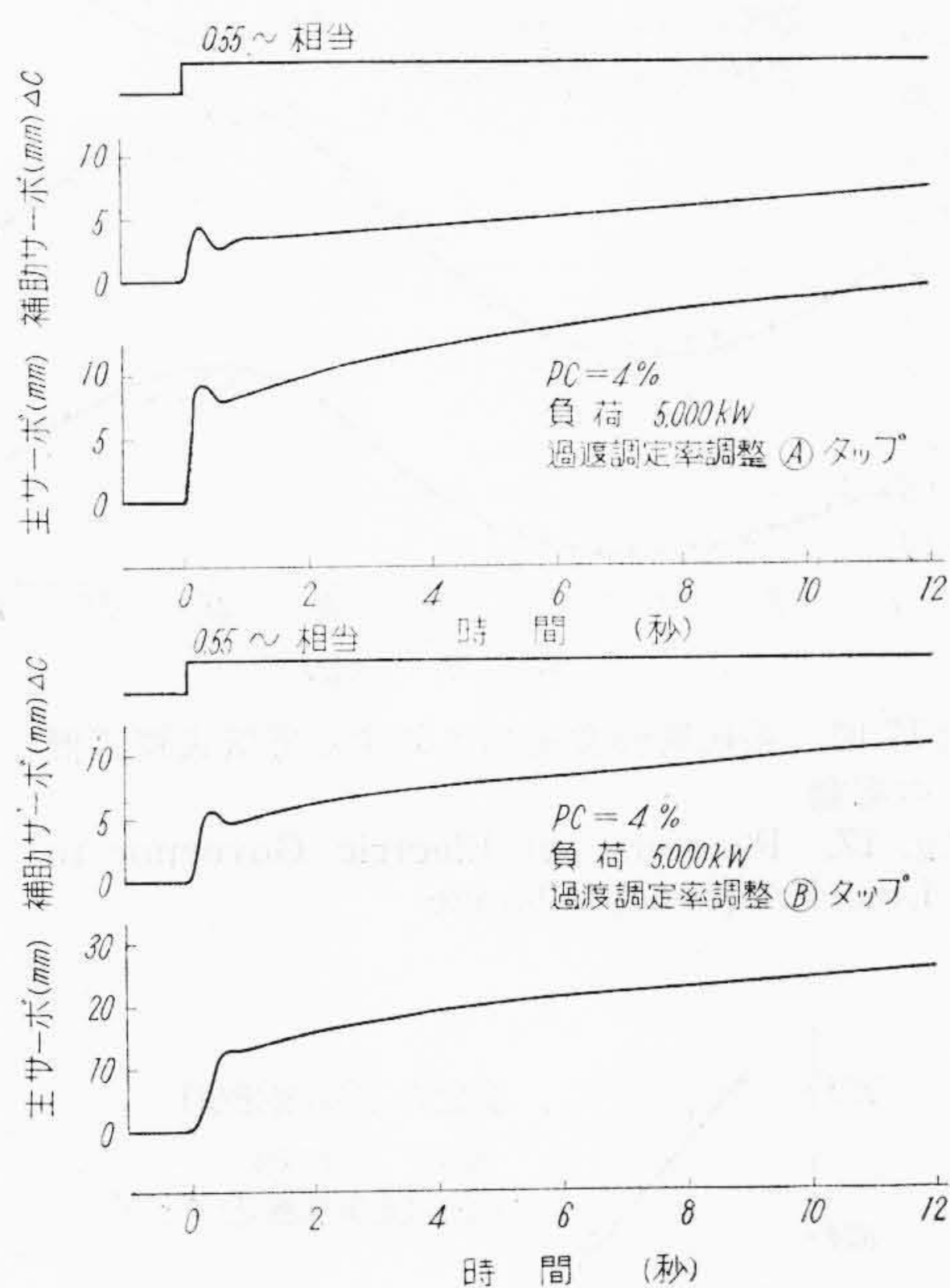
試験装置は〔III〕および〔IV〕で述べた回路方式と構造よりなるものであり、電気部分の主回路はレギュレータ・キュービクルとして一つに取纏めた。その外観は第11図に示してあり、これを配電盤室に設置した。一次配圧弁、補助サーボ・モータ、電磁式可動弁などを一つの



第13図 単独運転時の過渡応答
Fig. 13. Transient Response at Independent Running



第14図 単独運転時の安定度測定オシログラムの一例
Fig. 14. Example of Oscillogram Obtained from Stability Test at Independent Operation

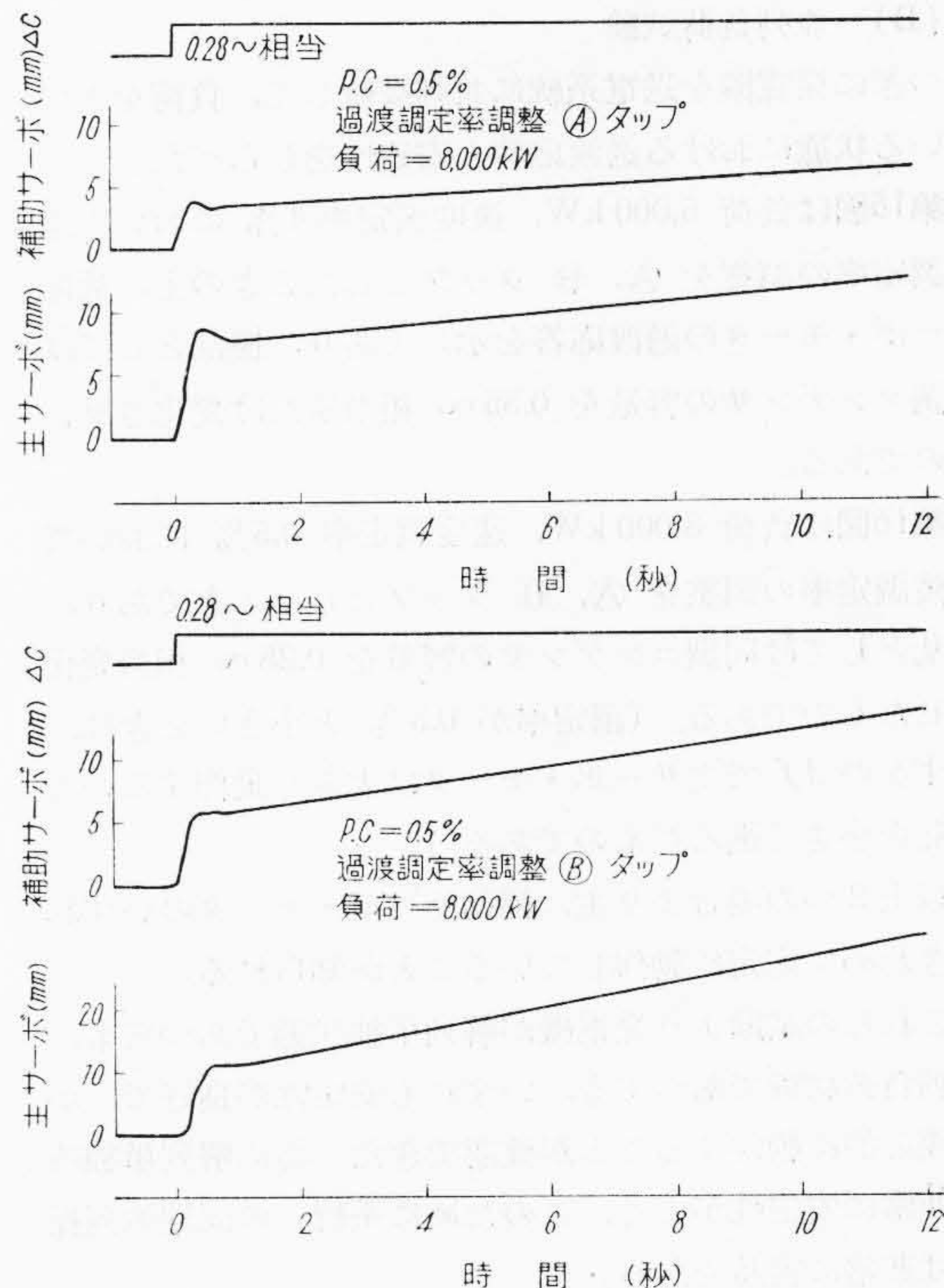


第15図 並列運転時の過渡応答
Fig. 15. Transient Response at Parallel Running

箱におさめ、アクチュエータ・キュービクルに納めて水車室に設置した。

既設调速機との組合せは、既設のアクチュエータと二次配圧弁の連結レバーを取はずし、アクチュエータ・キュービクル内の補助サーボ・モータと既設调速機二次配圧弁とをレバーにて接続し、さらに既設サーボ・モータ軸から二次配圧弁に復原レバーを接続した。

また速度検出用電源としては、主発電機電圧端子とO.C.B間の11kV母線より11kV/110VのP.Tでとりだす方法と、発電機軸に結合されている永久磁石発電機（アクチュエータ発電機）を使用する方法の二つをとった。



第16図 並列運転時の過渡応答
Fig. 16. Transient Response at Parallel Running

これらの全接続ブロック線図を第12図に示してある。

(2) 試験結果とその検討

試験項目は既述のようであるが、紙面の都合上、主要な試験結果のみについて述べることにする。

(A) 解列無負荷試験

水車発電機を送電系統より解列し、単独運転を行つている状態で試験を行つた。このときは送電系統に接続されていないが、调速機としての全制御系の閉回路は構成されている。

試験の方法はレギュレータ・キュービクル中の周波数

検出回路のコンデンサに並列に別箇のコンデンサをスイッチ・インして周波数整定値を約 0.15% 相当の変化をあたえたときの過渡応答, および安定度の測定を行った。

第13図は速度調定率 7, 4, 0.5% の三つの場合を示してある。いずれも過渡調定率の調整は同一の場合である。大きな慣性をもつ水車発電機の回転数が安定に, また速応的に制御されていることがわかる。

第14図はこのように人工的な過渡擾乱をあたえた場合でなく, 単独で平常運転をしている場合を示し, レーシングなどの乱調現象は全然みられず非常に安定していることがわかる。

(B) 並列負荷試験

つぎに発電機を送電系統に並列接続して, 負荷をとっている状態における過渡応答と安定性をしらべた。

第15図は負荷 5,000 kW, 速度調定率 4% において過渡調定率の調整を (A), (B) タップとしたときの主, 補助サーボ・モータの過渡応答を示してあり, 擾乱としては同調コンデンサの容量を 0.55% 相当量だけ変化させたものである。

第16図は負荷 8,000 kW, 速度調定率 0.5% において過渡調定率の調整を (A), (B) タップとしたときであり, 擾乱としては同調コンデンサの容量を 0.28% 相当変化させたものである。(調定率が 0.5% と小さいときは, わずかの Δf で主サーボ・モータは大きく動作するので擾乱を小さく選んだものである。)

以上 2 つの場合より主, 補助サーボ・モータのいずれもきわめて安定に動作していることが知られる。

これらの試験より発電機が解列単独状態であつても, 並列負荷状態であつても, いずれも安定性が良好で, かつ速応的に動作することが確認できた。特に解列単独時は非常に安定性がよく, このために系統との同期並列操作は非常に容易である。

(C) 感度測定試験

水車発電機を送電系統に並列接続しておく場合, 調速機, したがって主サーボ・モータは系統周波数に応じて動作をするが, 電氣的, 機械的ガタ, 摩擦などのためにある微小な周波数変動 Δf 以内では応動しない。この微小な周波数の範囲を不感帯と称し, 感度はこの数値の $1/2$ をもつてあらわす。すなわち開方向で動作しはじめる周波数を F_1 , 閉方向で動作をはじめる周波数を F_2 とすると,

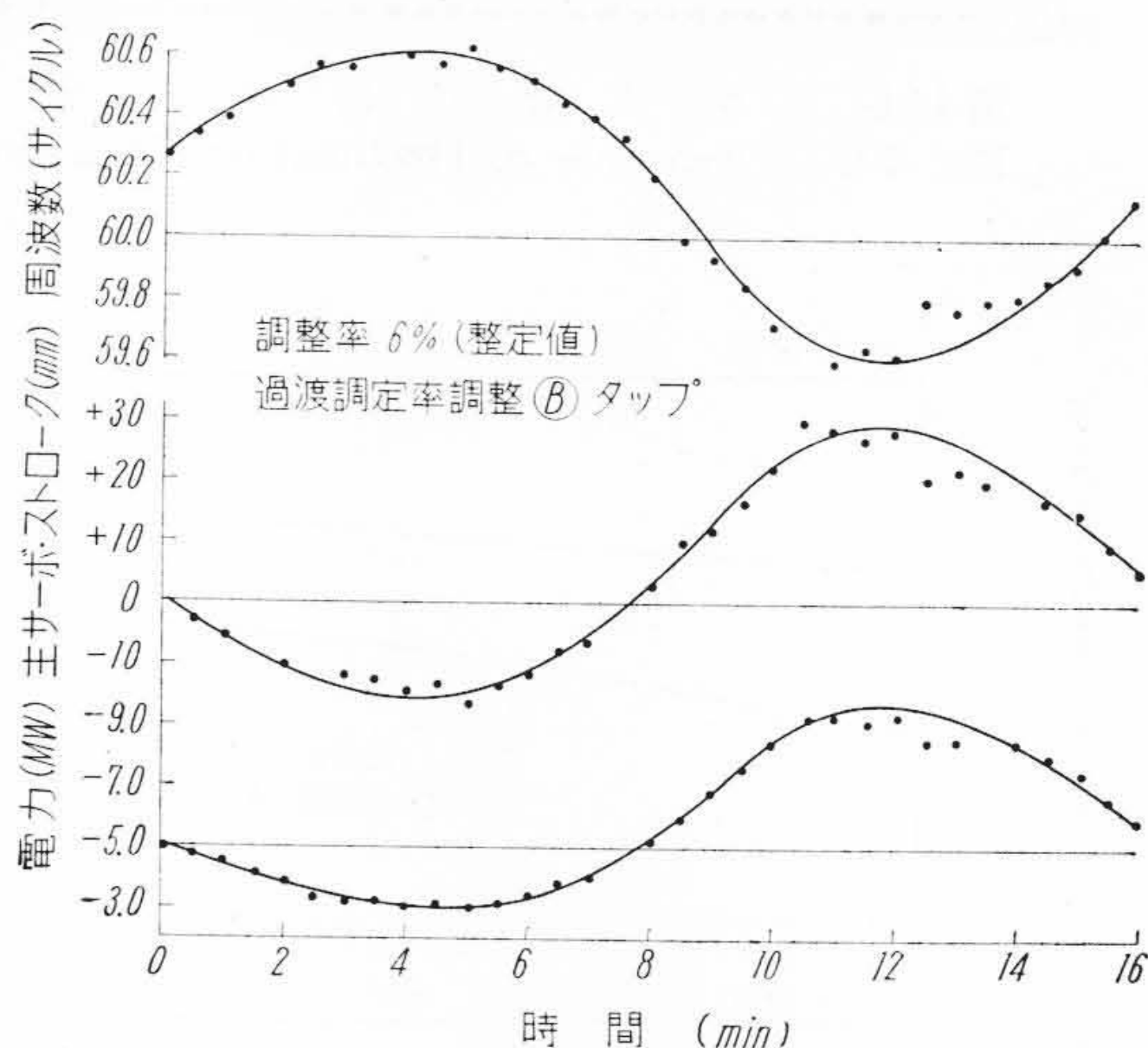
$$\frac{F_1 - F_2}{2 \times \text{基準周波数}} \times 100\%$$

をもつて感度と定義している。

調定率は調速機の増幅度に関連する数値であるから, 調定率によつて感度は当然ことなってくるはずである。

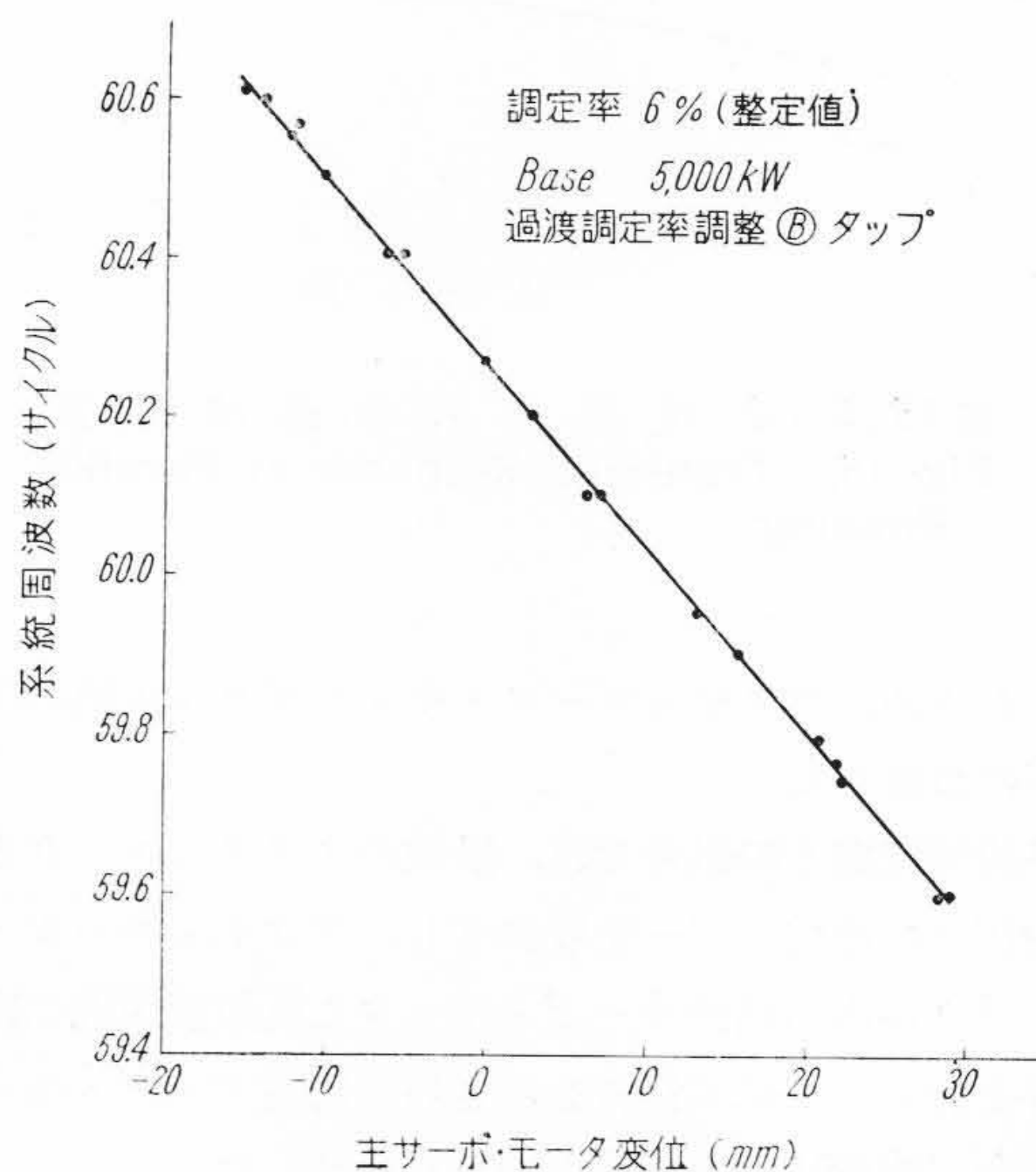
第 1 表 感度測定結果(過渡調定率調整 B タップ)
Table 1. Results of Sensitivity Measurement

調 定 率	感 度
6 %	0.013 %
4 %	0.012 %
2 %	0.010 %
0.5 %	0.007 %



第 17 図 系統周波数変動に対する電気式調速機の応動

Fig. 17. Response of Electric Governor to Line Frequency Change



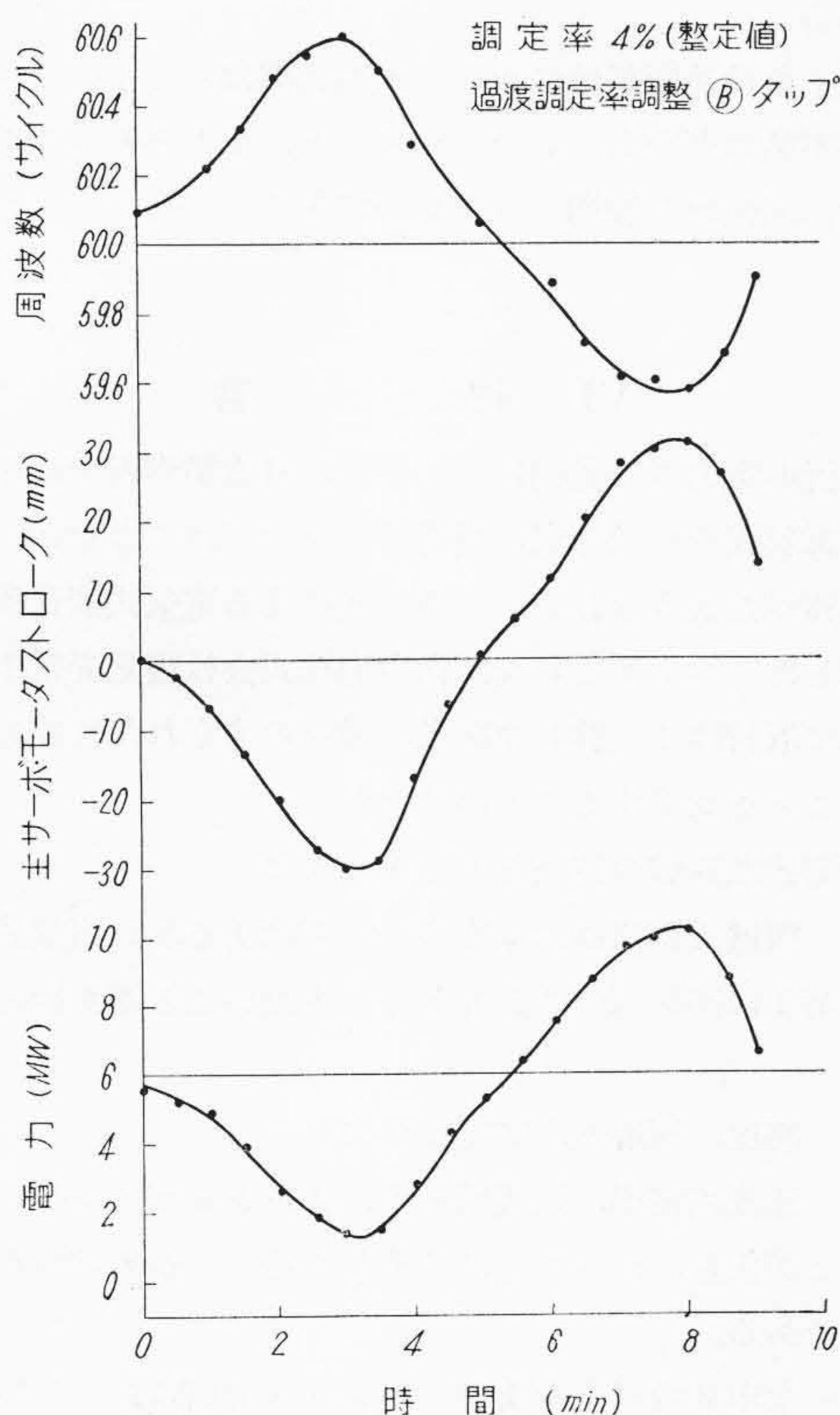
第 18 図 電気式調速機の調定率特性
Fig. 18. Speed Droop Characteristics of Electric Governor

第 1 表には過渡調定率の調整を (B) タップとし, 速度調定率をいろいろ変化させた場合の主サーボ・モータの

感度を示してあり、非常に高感度のものであることがわかる。なお感度測定は微小周波数変化測定装置、電磁オシログラフを用いて行つたものである。

(D) 系統周波数変動に対する応動試験

電力系統の周波数を人為的にほぼ正弦波的に変化させると電気調速機は勿論これに応動し、主サーボ・モータしたがって電力はほぼ正弦波的に変化する。



第19図 系統周波数変動に対する電気式調速機の応動

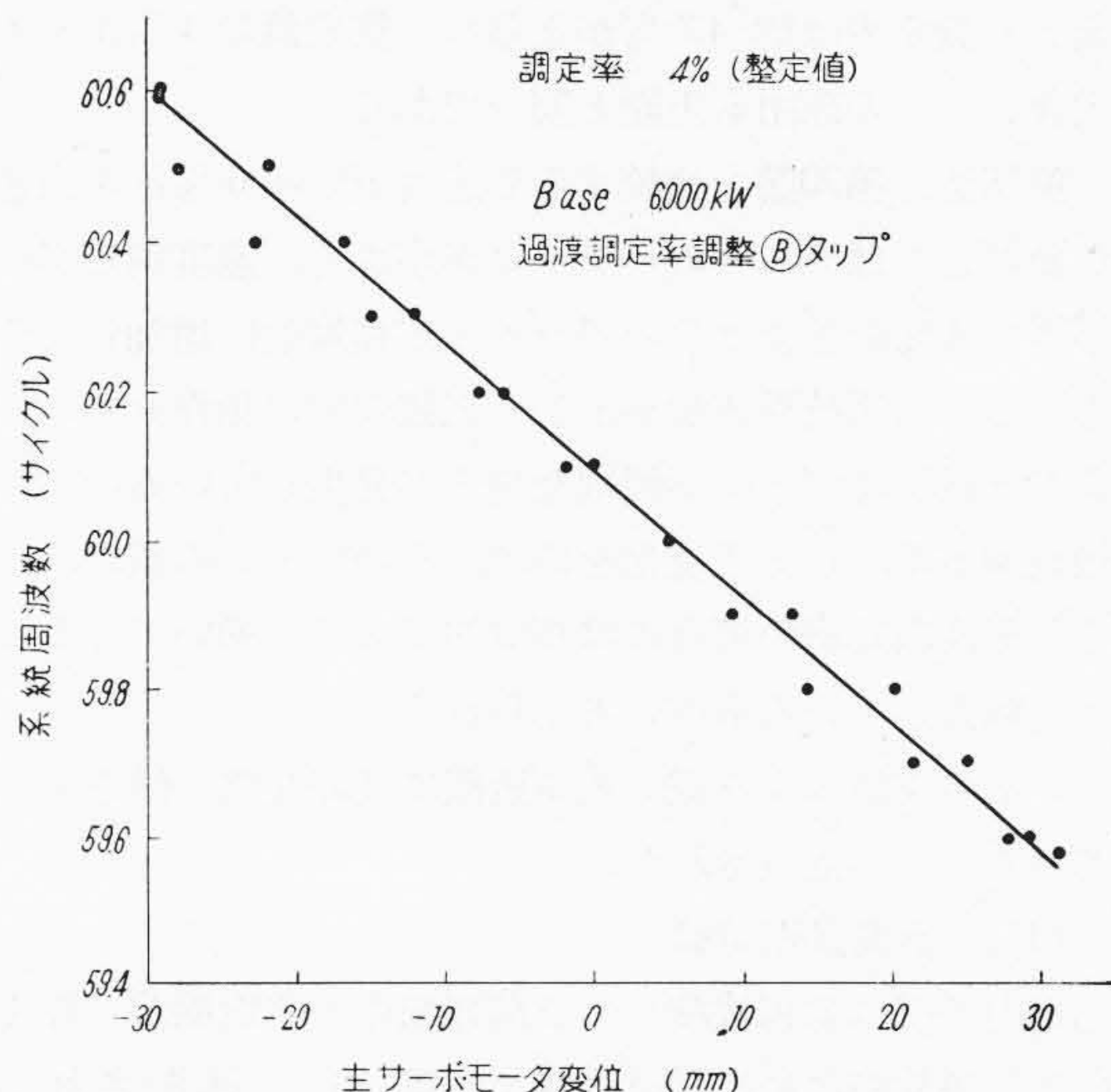
Fig. 19. Response of Electric Governor to Line Frequency Change

この際感度が不良であつたり、また速度調定率特性が不統一であれば主サーボ・モータは変動周波数どおりに応答しない。

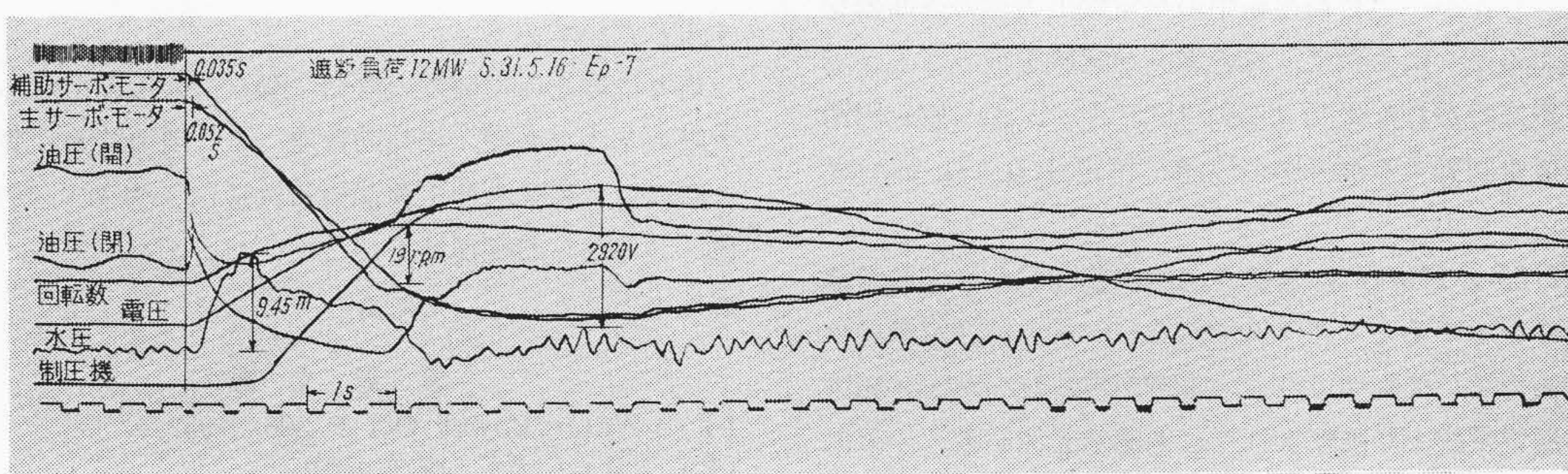
第17図は速度調定率を6%, 過渡調定率を⑧タップとして系統周波数に応動させたときの主サーボ・モータ・ストロークと電力を示してある。

中央給電所より本州 60 $\sim$ 系中の発電所に電話指令をして周波数をほぼ正弦波的にかえる努力がなされた。60 $\sim$ を中心にして $\pm 0.5\sim$ の変化をさせるには約 $\pm 150\sim \pm 200\text{MW}$ 位の電力を変化させる必要があり、正しく正弦波的に変化させることは大変困難であるが、図示のようにほぼそれに近い変化をあたえた。同図より主サーボ・モータしたがって電力は周波数変動に正しく追従していることが明瞭である。

第18図はこの試験結果を、縦軸に周波数、横軸に主サーボ・モータ・ストロークとして示したもので、この傾



第20図 電気式調速機の調定率特性
Fig. 20. Speed Droop Characteristics of Electric Governor



第21図 負荷遮断試験オシログラム
Fig. 21. Oscillogram of Load Trip Test (Governor Test)

第 2 表 電気式調速機の負荷遮断試験結果
Table 2. Results of Load Trip Test (Governor Test)

試験番号	EP-1	EP-2	EP-3	EP-4	EP-5	EP-7
遮断負荷	4 MW	4 MW	8 MW	4 MW	8 MW	12 MW
不動時間	0.100秒	0.080秒	0.070秒	0.087秒	0.077秒	0.052秒
発電機電圧変化	13.3 %	12.35%	19.0 %	10.6%	17.8%	26.5 %
回転数変化	3.75%	4.15%	5.74%	3.33%	5.0 %	7.9 %
水圧変化		8.05m	8.76m	8.35m	9.8 m	9.45m

斜が速度調定率を示すことになる。この値は約 7.5 % となり整定した 6 % より大きい値を示している。その理由は速度調定率（永久）の 6 % に、さらに周波数が正弦波的变化をつづけるために、これに応動する過渡調定率附加回路より発生する過渡調定率が加算されたものである。

第19図は速度調定率を 4 % に整定した場合であり、第20図はこれを上記と同様に書換えたものである。この傾斜より調定率は約 4.7 % がえられ、整定値の 4 % よりも大きい。この理由も上記と同一である。

第18図と第20図を比較すると速度調定率 6 % 位の大きい値のときはデータのバラツキが小さく、速度調定率の小さい 4 % のときはそのバラツキが相対的に増加している。これは系統周波数が正しく正弦波的に動作せず、ときどき微小時間中に不規則な変化が発生しているので、過渡調定率はたえず変化を続け、その結果この値が、小さな速度調定率の場合には相対的に大きく効いてくることに原因しているものと考えられる。

以上の実験により電気式調速機は良好な整一性をもっていることが立証された。

(E) 負荷遮断試験

電力系統に並列接続して負荷運転中の発電機が、なんらかの事故のために送電系統より電氣的に遮断されると、いままで負荷に相当する多量の水量が水車に流入していたため、水車発電機の回転数は大きく上昇しようとするが、調速機が動作して基準周波数に引き下げようとする。したがって負荷運転中の発電機出力側の遮断器を開路することによつて、このような試験を行うことができ、調速機がむだ時間（不動時間）なく、かつ安定円滑に速度を制御するか否かの性能を判定することができる。

第21図は 12MW の負荷を急激に遮断したときの各部の動作を示すオシログラムである。一番上は発電機の負荷電流を示してあつて、この電流が零になつたとき発電機が送電系統より遮断されたことを示している。つぎに補助サーボ・モータ、主サーボ・モータ、油圧、回転数、電圧、水圧、制圧機、時刻目盛などの様子を示してあ

る。主サーボ・モータは負荷遮断後 0.052 秒という非常に短い時間後動作を開始していて、各部の感度、速応性が十分良好であることを立証している。また調速機の調整の終局目標である水車発電機の回転数はオシログラムに見られるようにレーシングを起すことなく、大変に安定に、かつ円滑に制御されていることが明示されている。

第2表に 4, 8, 12MW の負荷遮断試験結果を一括して示してあり、いずれも良好な値がえられていることがわかる。

以上負荷遮断試験において本調速機は、従来にない短かい不動時間をもつものであること、また至極安定かつ円滑に回転数を制御しうるものであることが立証された。

〔VI〕 結 言

最近の電力界の動向にかんがみ、日立製作所では早くより電気式水車調速機の開発研究をつづけてきたが、本文に述べたような新しい回路方式による電気式調速機を完成した。ついでこれを関西電力株式会社寝覚発電所の水車に取付けて試験した結果、種々のすぐれた性能を有することを立証することができた。

電気式調速機の特長とするところは

- (1) 機械式調速機にも幾多の特長はあるが、電気式では第1に回転部分や磨耗部分の少ないことがあげられる。
- (2) 感度、速応性、安定性がよい。
- (3) 速度調定率、過渡調定率、ダッシュポット時定数などが任意にかつ容易に調整しうる。しかも特性が整一である。

さらに水車 2 台以上を 1 個のハンドルで同時に一体運転するとか、予定した負荷に応じてプログラム運転、上水槽への流入水量に応じて負荷をとる水位調整運転なども、電氣的な接続によつて容易に応用することができる。

近く本格的な製品が現地発電所に納入される予定になつており、わが国電力界に大きな寄与をなすものと自負するしだいである。

終りにのぞみ本装置の研究に関して御指導を賜つた大阪大学山口教授、桜井助教授、また現地試験に関しては関西電力株式会社工務部黒須次長ほか多数の関係者に、並々ならぬ御援助をいただいたことを、ここに厚く御礼申上げるしだいである。

参 考 文 献

- (1) Water Power Oct P. 396 (1952)
- (2), (4), (5) 特許申請中
- (3) 山口、桜井、永野、野中：電気学会連合大会 201 (昭 28-5)